Aus der Prothetischen Abteilung (Vorstand: Dr. Jantzen)
des Zahnärztlichen Instituts der Universität Tübingen
Vorstand: Prof. Dr. Wasmuth

Die Expansion und Kontraktion der Palladium-Silber- und der Spar-gold-Legierungen nebst praktischen Gießversuchen zum Ausgleich der Kontraktion beim Gußverfahren

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Wilhelm Jacob
Zahnarzt
aus Wesermünde-Lehe

1939

Buchdruckerei Bölzle, Tübingen, Marktgasse 10

Dekan: Professor Dr. Stickl

Berichterstatter: Professor Dr. Wasmuth

Zum Druck genehmigt von der Medizinischen Fakultät

der Universität Tübingen

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meiner lieben Frau!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549608_0123

Die zahnärztliche Prothetik hat sich zu allen Zeiten in Abhängigkeit von den Werkstoffen entwickelt, die ihr zur Verfügung standen. Die Fortschritte in der modernen Prothetik erklären sich daher aus der beständigen Zusammenarbeit von Wissenschaft und Technik, die eine dauernde Verbesserung zahnärztlicher Werkstoffe und ihrer Verarbeitungsmethoden bewirkte. Zwischen der Einführung eines Werkstoffes oder einer Methode und ihrer endgültigen Vervollkommnung liegt ein langer Weg gegenseitigen Erfahrungsaustausches und unermüdlicher Arbeit.

Wir stehen heute wieder in einer gewaltigen Umstellung in der Prothethik, denn der beherrschende Werkstoff Gold wird durch neue Werkstoffe ersetzt. An seine Stelle treten die sogenannten weißen Edelmetall-Legierungen auf der Palladium—Silber—Basis.

Palladium ist ein Metall aus der Platingruppe mit folgenden mechanischen Eigenschaften:

Schmelzpunkt:	1549° C
Atomgewicht:	106,7
Spez. Gewicht:	11,5

Es ist von silberweißer Farbe und fand deshalb schon früher Verwendung zur Herstellung von sogenannten Weißgolden.

In den Vereinigten Staaten hat man vor etwa 10 Jahren die ersten Versuche mit Palladium-Silber-Legierungen für prothetische Zwecke angestellt. Bei der Nickelgewinnung erhielt man als Nebenprodukt Palladium in solchen Mengen, daß es der Weltmarkt nicht mehr aufnehmen konnte. Um diesen Ueberschuß, dessen Preis durch das Ueberangebot sehr gesunken war, nutzbringend zu verwerten, kam man auf den Gedanken, ihn für prothetische Zwecke nutzbar zu machen in Legierungen, die etwa 40% Pd und 60% Ag enthielten. Diese konnten sich aber neben den Goldlegierungen nicht durchsetzen, da ihr Schmelzpunkt durch den Palladiumzusatz so hoch war, daß sie für das zahnärztliche Gußverfahren ungeignet waren. Außerdem war das Material für stark beanspruchte und federnde Werkstücke in der Prothetik wegen seiner geringen Festigkeit unbrauchbar.

In Deutschland griff man in den Jahren des wirtschaftlichen Niedergangs um das Jahr 1931 den Gedanken der Palladium-Silber-Legierungen auf und verbesserte diese neuen Werkstoffe in stetiger Arbeit, so daß sie heute in der Lage sind, das Gold vollwertig zu ersetzen.

In den Kriegs- und Nachkriegsjahren waren an die Stelle des Goldes eine ganze Reihe sogenannter „Goldersatzmetalle" mit mehr oder weniger klangvollen Namen getreten, die weiter nichts als Messinglegierungen waren und mit dem Golde nur die Farbe gemeinsam hatten. Unter dem Einfluß des Speichels und durch elektrolytische Vorgänge bei gleichzeitiger Anwesenheit anderer Metalle im Munde zersetzten sie sich und riefen zum Teil schwere Krankheitserscheinungen beim Träger hervor. Sie verursachten dadurch bei den Patienten eine Ersatzpsychose, die zunächst der Einführung der Palladium-Silber-Legierungen hindernd im Wege stand.

Die heute gebräuchlichen Palladium-Silberlegierungen bestehen aus etwa

20—30% Palladium
50—70% Silber
0—10% Gold
und etwa 10% Kupfer.

Daneben kommen noch in geringen Mengen folgende Legierungszusätze in Frage: Zink, Zinn, Cadmium, Nickel u. a.

Für besonders federnde Werkstücke wird auch Platin zugesetzt.

Das Kupfer senkt den Schmelzpunkt und erhöht die Härte, so besteht die Möglichkeit, durch die Wahl der Zusätze den Schmelzpunkt und die mechanischen Eigenschaften der verschiedenen Legierungen zu beeinflussen. Gleichzeitig werden die Legierungen durch die unedlen Zusätze vergütbar gemacht. Palladium bildet mit Silber in jedem Mischungsverhältnis feste Lösungen und durch sein niedriges Atomgewicht gibt es dem Silber schon bei einem Zusatz von etwa 20 Gewichtsprozenten Farbbeständigkeit, wie Hauberisser festgestellt hat.

Günstig wirkt sich auch das niedrige spezifische Gewicht dem Golde gegenüber aus, da es eine gewichtsmäßige Einsparung ermöglicht, ein Gesichtspunkt, der heute von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung ist.

Neben diesen Palladium-Silberlegierungen entstanden in den letzten Jahren die sogenannten Spargoldlegierungen, die etwa 55% Gold enthalten und damit eine etwa 14 karätige Goldlegierung darstellen. Um ihnen die gewünschte Farbbeständigkeit zu geben, wurde auch ihnen Palladium und Platin zugesetzt. Sie erlangen dadurch im Hinblick auf ihre Mundbeständigkeit etwa die Eigenschaften einer 18 karätigen Goldlegierung.

Bewußt hat man bei beiden Legierungsgruppen auf die vom Golde übernommene Einteilung in weiche, mittelharte und harte Legierungen hingearbeitet. Die meisten Herstellerfirmen geben ihren Legierungen eine Tabelle mit, die alle mechanischen Eigenschaften enthält, um dem Verbraucher die Auswahl für einen bestimmten Verwendungszweck zu er-

leichtern. Die vorliegenden Untersuchungen habe ich im Metallographischen Laboratorium der Degussa in Pforzheim durchgeführt. Für die Prüfungen benutzte ich die Palliag- und Duallor-Legierungen. Da die Legierungen der verschiedenen Hersteller in ihrer Zusammensetzung sehr ähnlich sind, kann man in gewissen Grenzen aus den untersuchten Legierungen auch Rückschlüsse auf das Verhalten der übrigen bekannten Palladium-Silber- und Spargoldlegierungen ziehen.

Nach der Einführung des Gußverfahrens in der Prothetik machte sich ein Mangel bemerkbar, der seit langem in der Gießerei-Industrie bekannt war. Das Gußobjekt war kleiner als das Ausgangsmodell. Diese Erscheinung beruht auf der Kontraktion (Schwindung) der Metalle bei der Abkühlung. Diese Schwindung setzt sich zusammen aus der Volumenverkleinerung a) im flüssigen, b) beim Uebergang vom flüssigen in den festen Zustand und c) im festen Zustand, vom Erstarrungspunkt bis zur Abkühlung auf Zimmertemperatur. Bei der Schwindung unter a) und b) bilden sich Hohlräume (Lunker) im Gußkörper. Dieser Tatsache trägt man in der Gießerei-Industrie dadurch Rechnung, daß man einen „verlorenen Kopf" anbringt und so die Lunkerbildung außerhalb des Gußobjektes verlegt. Es wird in weiter Verbindung mit dem Gußobjekt ein Hohlraum gebildet, der ebenfalls mit Schmelze gefüllt wird. Aus diesem Hohlraum, der später als das Gußobjekt erkaltet, ergänzt es sich, indem es flüssiges Metall nachsaugt. Die Schwindung unter c) gleicht man hier durch entsprechend größere Modelle aus.

Beim zahnärztlichen Gußverfahren muß man mit den gleichen unter a), b) und c) aufgeführten Kontraktionserscheinungen rechnen. Auch hier gelangte man zur Einführung des „verlorenen Kopfes". Da es aber nicht möglich ist, die Methode der Modellvergrößerung in der Prothetik anzuwenden, mußte man nach anderen Wegen suchen, um zu kontraktionslosen Güssen zu gelangen. Die Wege, welche die Zahnheilkunde zur Erreichung dieses Zieles gegangen ist, sind sehr mannigfaltig. Vor dem Jahre 1931 stand für den Ausgleich der Kontraktion beim Gußverfahren die Ausnützung der Einbettmasse- und der Wachsexpansion einzeln oder in Kombinationen miteinander im Vordergrund. Es gab hierbei verschiedene Wege, einmal den der Warmeinbettung, zum anderen den der kalten Einbettung in eine sehr langsam härtende Einbettmasse mit nachheriger Erwärmung im Wasserbade während der Erhärtungszeit der Einbettmasse. Man erkannte bald, daß die Ergebnisse bei diesen Methoden recht unterschiedlich waren. Die verschiedenen Wachssorten spielten ebenso wie die Vorbehandlung des Wachses eine erhebliche Rolle. So verhält sich z. B. gegossenes Wachs anders als geknetetes.

Die Unsicherheit und Umständlichkeit dieser Verfahren gaben die Veranlassung, Einbettmassen zu fordern, die durch ihre Expansion allein in der Lage waren, die Kontraktion der Metalle aufzuheben.

Schon im Jahre 1921 hat Trurnit (Dissertation Frankfurt) diese Forderung gestellt. Es ist bedauerlich, daß sie erst 10 Jahre später erfüllt wurde. Er hat damals ebenfalls schon die Anwendung des „verlorenen Kopfes" in seiner Arbeit gefordert, die aber erst 1929 in der zahnärztlichen Prothetik eingeführt wurde.

In den Vereinigten Staaten hat man zuerst die Cristobalitmassen entwickelt. Bei diesen Einbettmassen beruht die starke Expansion auf einer besonderen Modifikation des Quarzes, dem Cristobalit. In Deutschland entstanden bald ähnliche Massen, z. B. das Duroterm, das auch bei meinen Versuchen Verwendung fand. Im Duroterm kommt die Summe aus der Abbinde — und der thermischen Expansion zur Wirkung. Diese Einbettmassen verfügen über eine Expansion von 1,6% und sind deshalb geeignet, die Kontraktion der gebräuchlichen Edelmetall-Legierungen im festen Zustand auszugleichen.

Eine Verbesserung des Gußverfahrens bedeutet die Einführung der Degussa-Tiegelschleuder, die bei schonender Behandlung des Gußgutes und durch die Regelung der Erstarrung bessere und porenfreie Gußobjekte liefert. (Siehe Scheffler, Diss. Frankfurt, 1931).

Für meine Gießversuche wurde ausschließlich die Tiegelschleuder verwendet, welche die Versuchsergebnisse wie sie später beschrieben werden, ermöglichte.

Erstmalig hat Schäffner, Diss. Heidelberg 1931, Messungen der Kontraktion von Goldlegierungen angestellt. Nachdem er die Unzuverlässigkeit des Wachses für exakte Messungen festgestellt hatte, benutzte er Formkörper aus rostfreiem Stahl, auf denen seitlich kleine Plättchen aus hochschmelzendem und nicht oxydierendem Edelmetall aufgeklebt waren. Die Länge der Formkörper mit den Plättchen wurde genau bestimmt. Durch doppelte Einbettung nutzte er die Abbinde — und thermische Expansion der Einbettmasse aus. Der Stahlkörper wurde aus der ersten Einbettung nach erfolgter Abbinde-Expansion entfernt und der Formhohlraum mit einem Wachsdeckel verschlossen. Darauf erfolgte die zweite Einbettung in die eiserne Küvette. Nach einer Vorwärmung auf 550° erfolgte der Guß in den expandierten Hohlraum. Der Gußkörper wurde nach dem Erkalten mit den daran haftenden Plättchen gemessen. Die auftretende Kontraktion der Gußkörper bezeichnete er als Restkontraktion. Er kam zu dem Ergebnis, daß die Restkontraktion bei Goldlegierungen etwa 1,20%—1,26% betrug. Bei platinhaltigen Goldlegierungen war die Restkontraktion geringer.

Inzwischen waren die hochexpandierenden Einbettmassen geschaffen worden.

Appel (Diss. München, 1938) stellte dann dilatometrische Messungen zur Feststellung der thermischen Expansion von Edelmetallstäben an. Er kam zu dem Ergebnis, daß platinhaltige Goldlegierungen, die im kalten Zustand besonders fest sind, sich in der Wärme schon unter einem geringen Meßdruck verkürzen.

Er wiederholte die Versuche Schäffners ohne aufgeklebte Plättchen, damit die Kontraktion nicht behindert war. Unter Ausnützung der Abbinde- und thermischen Expansion der Duroterm-Einbettmasse gelangte er zu völligem Schwundausgleich.

Leuser und Spanner haben im Zusammenhang mit den Appel'schen Messungen festgestellt, daß die Festigkeit der Platin-Goldlegierungen in der Wärme sehr klein ist und daß dadurch die Kontraktion nach dem Guß durch die Form beeinflußt werden kann, wenn es sich z. B. um winklige oder stark gebogene Formen handelt, wie es bei Sattel-Inlays, Platten und dergl. in der Prothetik vorkommt.

Alle diese Arbeiten beschäftigen sich mit dem Verhalten von Goldlegierungen. Ueber die Palladium-Silberlegierungen ist in dieser Hinsicht nur wenig veröffentlicht.

Die vorliegende Arbeit soll eine noch bestehende Lücke in der Kenntnis dieser Legierungen schließen, indem an Hand von Messungen die Expansion und Kontraktion bestimmt wird. Dabei gibt das Verhalten in der Wärme unter Druck Anhaltspunkte für die Warmfestigkeit.

Eine Reihe von Gußversuchen diente dazu, den Beweis zu erbringen, daß mit den weißen Edelmetall- und Spargold-Legierungen kontraktionslose Güsse erzielt werden können, wenn man sie nach den für das Gold ausgearbeiteten Gußmethoden gießt.

In einer weiteren Versuchsreihe soll die Kontraktion beim Guß aufgezeigt werden. Ich habe dabei einmal durch die Form in der Schrumpfung unbehinderte und zum andern durch die Formgebung der Gußform behinderte Güsse hergestellt.

1. Messung der Expansion und Kontraktion.

Für die Messungen benutzte ich die gleiche Apparatur, wie sie Appel bei seiner Arbeit verwandt hat. Es handelt sich um ein Quarzrohr-Dilatometer, wie es für solche Untersuchungen gebräuchlich ist und schon früher von Holzmann und Thilenius beschrieben wurde. Zum besseren Verständnis füge ich eine schematische Abbildung und eine kurze Beschreibung der Apparatur bei.

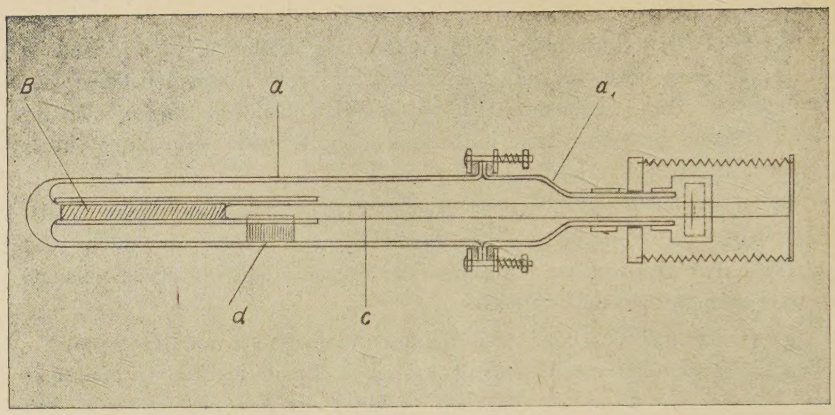


Abbildung 1

Wie aus der Abbildung zu ersehen ist, besteht die Apparatur aus dem äußeren Quarzmantel a, auf den zur Erleichterung der Einführung des Probestabes der Ansatz a_1 aufgeschraubt wird. Durch ein weiteres Quarzrohr geschützt, ruht der Probestab B auf einem Zapfen, der am geschlossenen Ende des Quarzmantels angeschmolzen ist. Am anderen Ende steht der Probestab B mit einem freibeweglichen Quarzstab c in Verbindung, der am äußeren Ende eine Glasmarke trägt. Das Ansatzrohr A_1 besitzt an seinem freien Ende eine feststehende Glasmarke.

Bei Längenveränderungen des Metallstabes wandert die Marke am Quarzstab c, so daß der entstehende Abstand zwischen ihr und der feststehenden Marke gemessen werden kann. Zur Herstellung eines dauernden Kontaktes des Probestabes B mit dem Uebertragungsstab c, ist ein Gummizug mit 60 g Gegendruck angebracht. Zur Unterstützung des Stabes c dient ein Schamotteklotz mit einer Führungsrinne.

Diese Apparatur wird in einen elektrischen Röhrenofen mit Silitstabheizung so eingebracht, daß der Ansatzstutzen a_1 mit der Meßeinrichtung herausragt. Dabei befindet sich der zu messende Probestab in der Mitte des Ofens. Der Ofen gewährleistet eine langsame, gleichmäßige Erwärmung und Abkühlung. Zur Messung benutzte ich ein Mikroskop mit Stufenmikrometer, wobei die Verschiebung um einen Teilstrich eine Längenveränderung von 0,0238 mm betrug. Die Temperatur im Ofen wurde durch ein Thermoelement, das sich im Quarzrohr direkt unter dem Probestab befand, auf ein Millivoltmeter übertragen.

Die Messungen wurden an runden Stäben mit einer Länge von 100 mm und einem Durchmesser von 5,5 mm ausgeführt. Beide Endflächen der Stäbe waren planparallel gedreht und wurden vor und nach dem Versuch auf dem Zeiß-Meßtisch mit Meßuhr gemessen. Die Meßuhr wurde mit einem Endmaß von genau 100 mm eingestellt und mit diesem immer wieder kontrolliert.

Die Längenveränderungen wurden sowohl beim Anheizen, als auch beim Abkühlen von 50 zu 50° C abgelesen. Die Probestäbe waren hartgezogen, bei einzelnen Werkstoffen wurden auch Stäbe vorher weichgeglüht und dann gemessen, damit man die beiden Zustände miteinander vergleichen konnte.

Die beiden Legierungsgruppen Palliag und Duallor umfassen jeweils 3 Werkstoffe, die in ihren mechanischen Eigenschaften so abgestuft sind, daß man alle vorkommenden prothetischen Arbeiten damit ausführen kann. Zur Palliag-Gruppe gehört noch ein 4. stark federnder Werkstoff, der für orthodontische Arbeiten und für Klammern bestimmt ist.

Ich füge, der besseren Uebersicht halber die Tabellen mit den mechanischen Eigenschaften der Palliag- und Duallor-Legierungen bei.

Tabelle 1.

Mechanische Eigenschaften der Palliag-Legierungen.

Bezeichnung	Schmelzintervall	Härte kg/mm²		Zerreißfestigkeit kg/mm²		Fließgrenze kg/mm²		Dehnung %	
		w	v	w	v	w	v	w	v
W	1180—1080°	49	—	30	—	12	—	47	—
P	1125—1030°	83	158	44	58	24,5	40	39,3	24
M	1040— 950°	140	260	57	93	37	90	27	6
Ill 0	1130—1000°	141	260	66,2	94	50,5	85	23,7	14,2

w = weichgeglüht bei 880°

v = vergütet 20 Min. bei 430°.

Tabelle 2.

Mechanische Eigenschaften der Duallor-Legierungen.

Bezeichnung	Schmelzintervall °C	Härte kg/mm²		Zerreißfestigkeit kg/mm²		Fließgrenze kg/mm²		Dehnung %	
		w	v	w	v	w	v	w	v
Duallor-Kronen	1100—1070°	56	—	36	—	16,7	—	36	—
Duallor-Platten und Stifte	1055— 900°	90	161	48,8	73,7	28,2	56,3	37	25
Duallor-Guß und Klammern	995— 890°	130	216	59,6	93,7	39,7	84,5	33	11

w = weich

v = vergütet 15 Min. bei 400°

Die Abstufung in weiche, mittelharte und harte Legierungen wird durch die unedlen Zusätze erreicht. Man kann also bei den Messungen der Expansion den Einfluß der Zusammensetzung mit erkennen.

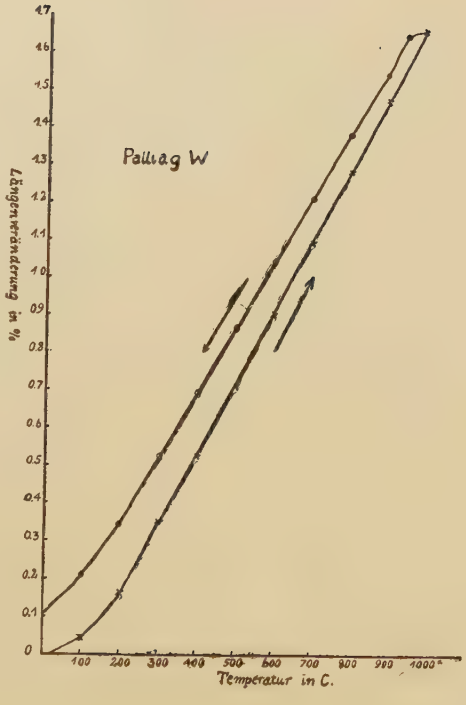
Die abgelesenen Werte sind in Tabellen wiedergegeben, (Tabelle 3 für Palliag, einschließlich Palliag III O, Tabelle 4 für Duallor), außerdem wurde für jede untersuchte Legierung aus den gefundenen Werten eine Kurve gezeichnet, die ein anschauliches Bild von dem Verhalten der Legierung bei der Erwärmung und Abkühlung gibt. Es folgen zunächst die Kurven 1, 2, 3 und 3a. 4 und 4a für Palliag.

Tabelle 3.

Längenveränderungen der Palliaglegierungen

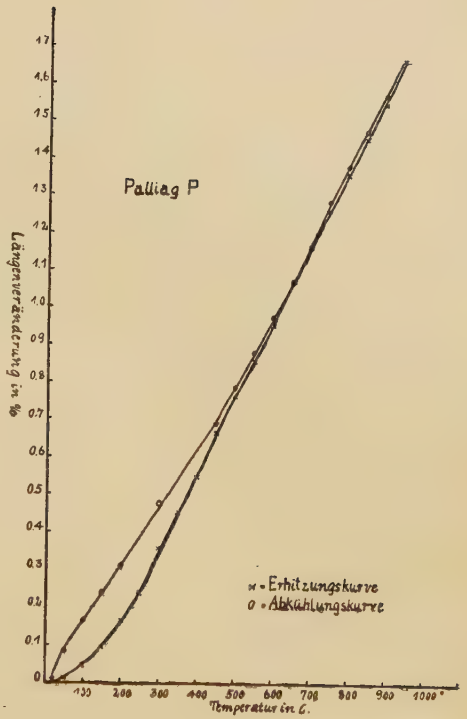
E = Erhitzung A = Abkühlung

Material	Palliag W hartgezogen		Palliag P hartgezogen		Palliag M hartgezogen		Palliag M weichgeglüht		Palliag III O hartgezogen		Palliag III O weichgeglüht	
Schmelzintervall	1180—1080°		1125—1030°		1040—950°		1040—950°		1130—1000°		1130—1000°	
Temperatur ° C	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A
20	0,0	0,1190	0,0	0,0119	0,0	-0,2380	0,0	-0,1713	0,0	-0,1328	0,0	-0,2380
50	0,0119	0,1666	0,0119	0,0833	0,0119	-0,1666	0,0119	-0,0952	0,0	-0,0952	0,0119	-0,1904
100	0,0476	0,2142	0,0476	0,1666	0,0714	-0,0833	0,0476	-0,0119	0,0714	-0,0119	0,0833	-0,1190
150	0,0952	0,2856	0,0952	0.2380	0,1328	-0,0357	0,1190	0,0595	0,1328	0,0357	0,1666	-0,0119
200	0,1666	0,3570	0,1666	0,3094	0,2142	0,0476	0,1904	0,1190	0,2380	0,1190	0,2380	0,0714
250	0,2380	0,4998	0,2380	—	0,2856	0,1328	0,2856	0,1904	0,3094	0,1904	0,3094	0,1328
300	0,3570	0,5236	0,3570	0,4760	0,3808	0,2142	0,3808	0,2856	0,3808	0,2737	0,3808	0,2261
350	0,4284	—	0,4522	—	0,4760	0,2856	0,4760	0,3808	0,4760	0,3570	0,4760	0,3094
400	0,5236	—	0,5474	—	0,5712	0,3570	0,5712	0,4760	0,5474	0,4284	0,5474	0,3927
450	0,6188	—	0,6664	0,6902	0,6188	0,4522	0,6664	0,5474	0,6664	0,4998	0,6188	0,4641
500	0,7140	—	0,7616	0,7854	0,6188	0,5236	0,7616	0,6188	0,7378	0,5950	0,6664	0,5474
550	0,8092	—	0,8568	0,8806	0,6902	0,5950	0,8568	0,6902	0,8330	0,6664	0,7616	0,6426
600	0,9044	—	0,9520	0,9758	0,7378	0,6902	0,9520	0,7854	0,9282	0,7616	0,8568	0,7140
650	0,9996	—	1,0710	1,0710	0,8330	0,7854	1,0472	0,8806	0,9996	0,8330	0,9520	0,8092
700	1,0948	1,2138	1,1662	1,1662	0,9520	0,8806	1,1424	0,9520	1,0472	0,9044	1,0352	0,8806
750	1,1900	1,2852	1,2614	1,2852	1,1424	0,9758	1,2376	1,0710	1,0710	0,9758	1,0948	0,9639
800	1,2852	1,3804	1,3566	1,3804	1,1662	1,0710	1,2852	1,1900	1,0710		1,1186	1,0234
850	1,3804	1,4756	1,4518	1,4756	1,1662		1,2852				1,1186	
900	1,4756	1,5470	1,5470	1,5708								
950	1,5708	1,6184	1,6660									
1000	1,6660											



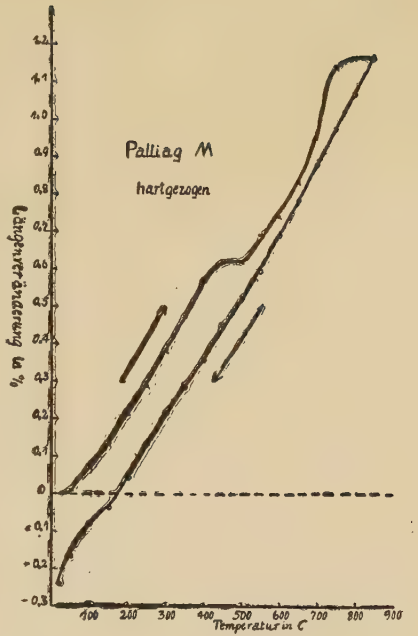
Kurve 1

Palliag W (hartgezogen)



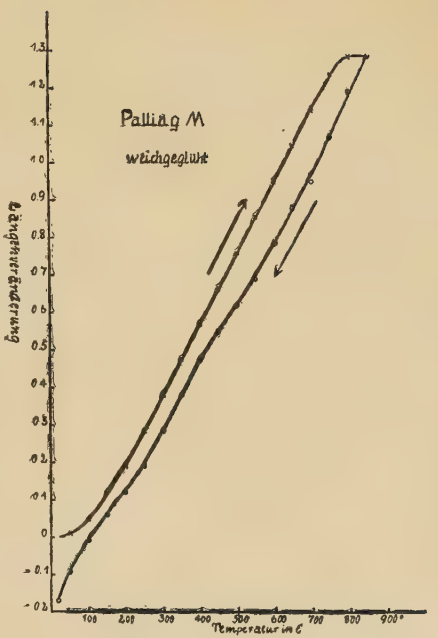
Kurve 2

Palliag P (hartgezogen)



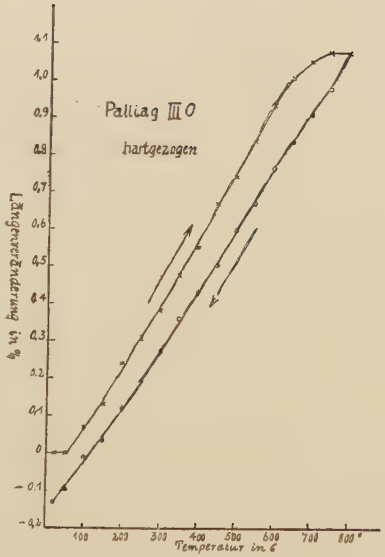
Kurve 3

Palliag M hartgezogen)

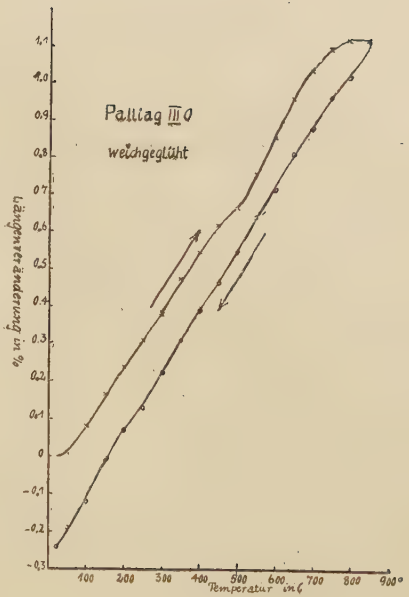


Kurve 3a

Palliag M (weichgeglüht)



Kurve 4
Palliag III O (hartgezogen)



Kurve 4a
Palliag III O (weichgeglüht)

Vergleicht man die Kurven untereinander, so sieht man bei Palliag W (Kurve 1), daß die Abkühlungskurve über der Erhitzungskurve verläuft und bei 0,12% Längenzunahme endigt. Durch Nachmessung der absoluten Länge des Stabes auf dem Meßtisch konnte tatsächlich diese Längenzunahme nachgewiesen werden. Während der Erhitzung hat der Stab wahrscheinlich Sauerstoff aufgenommen, der zu dieser Verlängerung geführt hat. Kleine Bläschen auf der Metalloberfläche deuten auf diesen Vorgang hin.

Palliag P (Kurve 2) zeigt bei der Erhitzung zunächst einen verzögerten, von 250° C an aber völlig gleichmäßigen Anstieg. Die Abkühlung verläuft fast gradlinig und deckt sich bis zu 500° C. nahezu völlig mit der Erhitzungskurve. Die dann eintretende Abweichung ergibt sich aus der Verzögerung in der Erhitzungskurve. Der Stab hat nach der Erhitzung dieselbe Länge beibehalten.

Bei Palliag M (Kurven 3 und 3a) zeigt sich zwischen dem hartgezogenen und weichgeglühten Zustand ein Unterschied. Der hartgezogene Werkstoff erfährt bei 400—500° eine Längenabnahme, die wohl auf die inneren Umwandlungen infolge der Vergütung und gleichzeitigen Kristallerholung zurückzuführen ist. Bei der Messung im weichgeglühten Zustand fehlt diese Abweichung in der Kurve. Palliag M hat offenbar von 750° an nur noch eine geringe Festigkeit, denn bei beiden Messungen treten von dieser Temperatur an Verkürzungen auf, die auf eine Stauchung der Stäbe trotz des geringen Meßdruckes von 60 g zurückzuführen sind. Die Abkühlungskurve verläuft im wesentlichen parallel zur Erhitzungskurve, sie endigt infolge der Stauchung beträchtlich unter dem Nullpunkt.

Palliag III O (Kurven 4 und 4a) zeigt zwischen dem hartgezogenen und weichgeglühten Zustand keinen nennenswerten Unterschied. Von 600° an ist beim hartgezogenen Werkstoff deutlich eine Verkürzung festzustellen. Es wird sich um eine Stauchung unter dem Meßdruck handeln, die schon sehr früh einsetzt. Beim weichgeglühten Werkstoff setzt diese Stauchung erst bei 670° deutlich ein, dafür ist aber die innere Umwandlung während der Vergütung im Kurvenablauf als Verkürzung wahrzunehmen.

Palliag W, P und M sind im Palladium- und Goldgehalt fast völlig gleich. Palliag W ist praktisch ohne unedle Zusätze. Bei P sind 5,5%, bei M 12% unedle Zusätze vorhanden, die auf Kosten des Silbers zugesetzt sind. Vergleicht man nun die Längenausdehnungen bei 700°, so hat

W 1,09%,
P 1,16%,
und M 1,14%

Expansion. Unter sich besteht also kein großer Unterschied, außerdem ist eine Abhängigkeit von der Menge der unedlen Zusätze nicht festzustellen. Die Gesamtexpansion, die in Tabelle 5 bis zum Soliduspunkt der einzelnen Legierungen extrapoliert angegeben ist, hängt also in erster Linie von der Höhe dieses Punktes ab.

Tabelle 4.

Längenveränderungen der Duallorlegierungen.

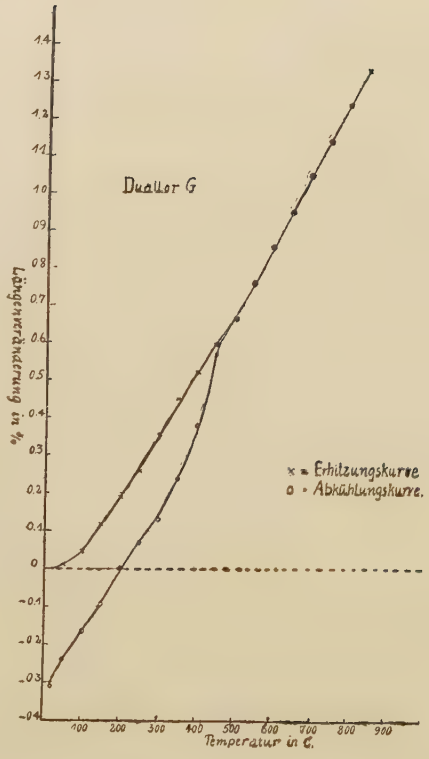
E = Erhitzung A = Abkühlung

Material	Duallor-Kronen		Duallor-Platten		Duallor-Guß hartgezogen		Duallor-Guß weichgeglüht	
Schmelzintervall	1100—1070 °		1055—900 °		995—890 °		995—890 °	
Temperatur in ° C	E	A	E	A	E	A	E	A
20	0,0	-0,0595	0,0	-0,0714	0,0	-0,3094	0,0	-0,1904
50	0,0238	0,0238	0,0119	-0,0238	0,0119	-0,2380	0,0238	-0,1328
100	0,0476	0,0952	0,0476	0,0714	0,0476	-0,1666	0,0595	-0,0714
150	0,1190	0,1666	0,1190	0,1190	0,1190	-0,0952	0,0952	0,0714
200	0,1904	0,2142	0,1904	0,1904	0,1904	0,0	0,1447	0,1328
250	0,2856	0,2856	0,2856	0,2618	0,2618	0,0714	0,2025	0,2261
300	0,3808	0,3808	0,3570	0,3332	0,3570	0,1328	0,2856	0,3094
350	0,4760	0,4522	0,4522	0,4522	0,4522	0,2380	0,3808	0,4046
400	0,5712	0,5474	0,5236	0,5474	0,5236	0,3808	0,4641	0,5117
450	0,6664	0,6188	0,5950	0,6426	0,5950	0,5712	0,5712	0,7140
500	0,7616	0,7140	0,6902	0,7140	0,6664	0,6664	0,6902	0,8330
550	0,8330	0,8092	0,7854	0,8092	0,7616	0,7616	0,8806	0,9401
600	0,9282	0,9044	0,8806	0,9044	0,8568	0,8568	0,9877	1,0234
650	1,0234	0,9996	0,9758	0,9996	0,9520	0,9520	1,0948	1,1186
700	1,1186	1,0948	1,0710	1,0710	1,0472	1,0472	1,1900	1,2138
750	1,2138	1,2138	1,1662	1,1900	1,1424	1,1424	1,2971	1,3090
800	1,3090	1,3090	1,2852	1,2852	1,2376	1,2376	1,3925	1,4280
850	1,4042	1,4042	1,3804		1,3328		1,5113	
900	1,4994	1,4994						
950	1,5946	1,5946						
1000	1,6898							

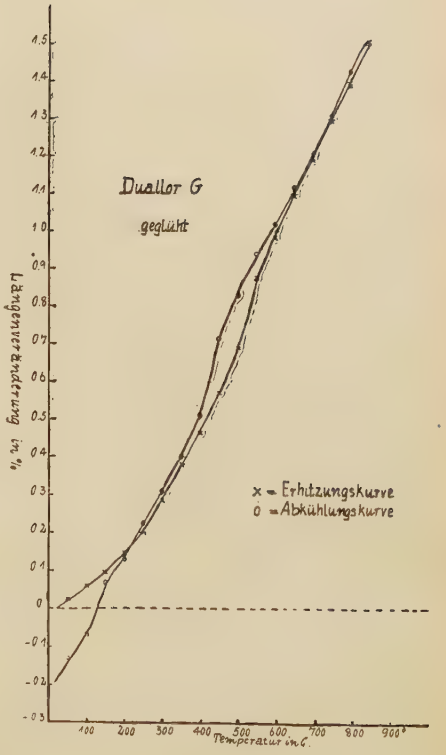
In Tabelle 4 sind die Werte für Duallor wiedergegeben, dazu gehören die Kurven 5, 6, 7 und 7 a.

Kurve 5 Duallor-Kronen

Kurve 6
Duallor-Platten



Kurve 7 Duallor-Guß (hartgezogen)



Kurve 7a Duallor-Guß (weichgeglüht)

Duallor-Kronen-Legierung (Kurve 5) zeigt eine stetige, gleichmäßige Längenausdehnung, wobei die Erhitzungs- und Abkühlungskurve fast völlig übereinstimmen. Der Stab hat bei Beendigung der Messung eine ganz geringe Verkürzung erfahren.

Auch bei Duallor-Platten-Legierung (Kurve 6) verlaufen die Erhitzungs- und Abkühlungskurve fast ganz perallel. Die auftretende Verkürzung bleibt ebenfalls ganz gering.

Diese beiden Werkstoffe verhalten sich untereinander sehr ähnlich. Die Warmfestigkeit ist anscheinend genügend groß, sodaß keine Stauchungen unter dem Meßdruck auftreten.

Bei der Duallor-Gußlegierung (Kurven 7 und 7 a) ist der Verlauf der Erhitzungs- und Abkühlungskurven etwas komplizierter. Beim hartgezogenen Werkstoff ist eine gleichmäßige Expansion festzustellen. Bei der Abkühlung verläuft die Kurve bis zu 500° parallel zur Erhitzungskurve, um dann beträchtlich davon abzuweichen und mit einer starken Verkürzung zu endigen. Der vorher weichgeglühte Werkstoff zeigt in der Erhitzungs- und Abkühlungskurve zwischen 400° und 600° eine Längenzunahme. Die Werte für die Expansion sind höher als im hartgezogenen Zustand. Obwohl die Abkühlungskurve bis zu 200° herunter fast parallel zur Erhitzungskurve verläuft, endigt sie doch mit einer Verkürzung von 0,2%.

Vergleicht man die Längenausdehnungen bei 700°, so sind für den hartgezogenen Zustand folgende Werte festzustellen:

Duallor K. 1,12%
„ Pl. 1,07%
und „ -Guß 1,05%.

Im geglühten Zustand hat Duallor-Guß dagegen 1,19% Längenzunahme. Sehr wahrscheinlich ist auch bei diesem Werkstoff, ähnlich wie bei Palliag M im hartgezogenen Zustand die Längenveränderung auf innere Umwandlung und gleichzeitige Kristallerholung zurückzuführen. Beim Vergleich der Erhitzungskurven am harten und weichgeglühten Werkstoff sieht man in der letzten Kurve zwischen 400 bis 550° eine Längenzunahme, die beim harten Werkstoff fehlt. Da beim weichgeglühten Probestab die Kristallerholung beim Erhitzen wegfällt, kommt ein grundsätzlich anderer Kurvenverlauf zustande.

Die Warmfestigkeit der Duallor-Gußlegierung läßt anscheinend ganz allmählich nach. Der Temperaturpunkt, an dem diese Stauchung eintritt, ist nicht eindeutig zu erkennen. Die Verkürzung des Stabes nach der Messung deutet aber doch auf geringe Warmfestigkeit hin.

Auch bei den Duallor-Legierungen ist ein Einfluß der unedlen Zusätze, die bei der Kronenlegierung 3%, bei der Plattenlegierung 7% und bei der Gußlegierung 12% betragen, auf die Expansion nicht ohne weiteres festzustellen. Die Größe der Gesamtexpansion hängt auch hier von der Höhe des Soliduspunktes ab.

In Tabelle 5 sind die Expansionswerte für die einzelnen Werkstoffe bei 700° sowohl unkorrigiert, als auch unter Berücksichtigung der Quarzausdehnung der Apparatur wiedergegeben. Die Tabelle enthält ferner den Ausdehnungskoeffizienten der Werkstoffe. Neben der Angabe über das Schmelzintervall enthält die Tabelle noch die Gesamtexpansion von 20° bis zum Soliduspunkt, die durch Extrapolation ermittelt wurde.

Tabelle 5.

Material	Ausdehnung in % von 20—700°		Wahrer Ausdehnungskoeffizient von 20—700°	Schmelzintervall	Gesamtexpansion 20°-Soliduspunkt extrapoliert
	unkorrigiert	wahre*)			
Palliag W hart	1,095	1,129	$16{,}6 \cdot 10^{-6}$	1180—1080°	1,76 %
„ P „	1,166	1,200	$17{,}0 \cdot 10^{-6}$	1125—1030°	1,78 %
„ M „	0,952	0,986	$14{,}5 \cdot 10^{-6}$	1040— 950°	1,38 %
„ M weich	1,142	1,178	$17{,}3 \cdot 10^{-6}$	1040— 950°	1,61 %
„ III O hart	1,047	1,081	$15{,}9 \cdot 10^{-6}$	1130—1000°	1,56 %
„ III O weich	1,035	1,069	$15{,}7 \cdot 10^{-6}$	1130—1000°	1,54 %
Duallor K hart	1,119	1,153	$17{,}0 \cdot 10^{-6}$	1100—1070°	1,78 %
„ P „	1,071	1,105	$16{,}2 \cdot 10^{-6}$	1055— 900°	1,43 %
„ Guß „	1,047	1,081	$15{,}9 \cdot 10^{-6}$	995— 890°	1,38 %
„ „ weich	1,190	1,224	$18{,}0 \cdot 10^{-6}$	995— 890°	1,57 %

*) Die wahre Ausdehnung der Legierungen bekommt man, wenn man zu der beobachteten Ausdehnung des Metallstabes diejenige eines gleichlangen Quarzkörpers in demselben Temperaturintervall hinzuzählt. Der Ausdehnungskoeffizient von Quarz ist 0,0000005, also sind für das Temperaturintervall von 20—700° jeweils 0,034% zu addieren.

2. Gießversuche zur Feststellung des Kontraktionsausgleiches.

Als Schäffner seine Gießversuche anstellte, verwandte er Stahlkörper mit aufgekitteten, konischen Edelmetallplättchen, deren Endflächen

er als Meßflächen benutzte. Bei der geringen Warmfestigkeit der platinhaltigen Legierungen folgten diese eingebetteten Meßplättchen dem schrumpfenden Metall nicht in demselben Maße, wie bei den anderen Goldlegierungen. Um diese Fehlerquelle auszuschalten, habe ich die Stahlkörper ohne Meßplättchen eingebettet. Ich erhielt bei sorgfältiger Beachtung aller Arbeitsvorgänge Güsse, die in fast allen Fällen ohne Nachbehandlung gemessen werden konnten.

Zur Einbettung gelangten die in der Abbildung 2 wiedergegebenen Körper aus Contracid.

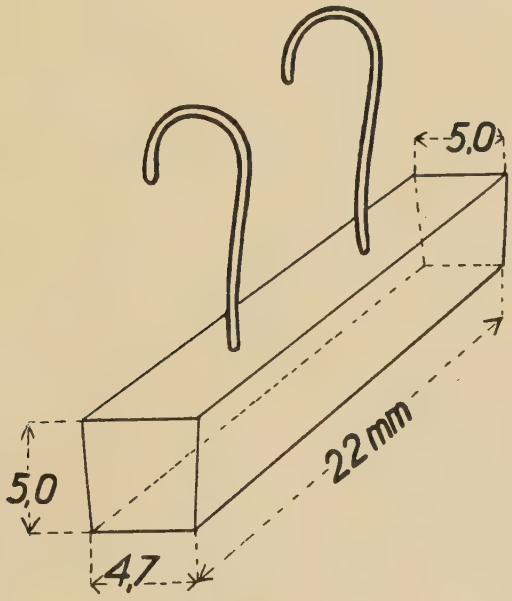
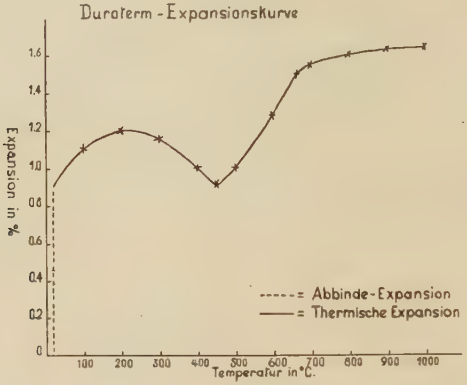


Abbildung 2.

Sie hatten eine Länge von 22 mm und waren zur leichteren Entfernung aus der Einbettmasse leicht konisch geformt. Die Endflächen waren planparallel geschliffen, um eine genaue Messung zu gestatten. Die Körper wurden zur ersten Einbettung frei aufgehängt, damit die Abbindeexpansion der Einbettmasse sich unbehindert auswirken konnte.

Zur Verwendung kam ausschließlich Duroterm-Einbettmasse, deren Expansionskurve ich folgen lasse.



Duroterm-Expansionskurve.

Die Einbettmasse wurde mit abgekochtem Wasser von Zimmertemperatur im Verhältnis 10 ccm Wasser zu 27,5 g Einbettmasse 20 Sekunden lang angerührt. Das Mischungsverhältnis wurde vorher ermittelt; ich wählte eine Konsistenz der angerührten Einbettmasse, die bei schnellem Arbeiten die Einbettung noch gut bewerkstelligen ließ. Mit dieser Masse wurden die Stahlkörper bis zur Höhe der oberen Fläche umgeben. Nach 30 Minuten war die Masse unter einer Abbindeexpansion von 0,9% erhärtet. Der Stahlkörper wurde entfernt und der Hohlraum mit einem Wachsdeckel verschlossen, an dem ein großer verlorener Kopf aus Wachs angebracht war. Nach 45 Minuten erfolgte die zweite Einbettung in eine eiserne Muffel, die mit Asbest ausgelegt war, damit sich die thermische Expansion, die bei Duroterm 0,7% beträgt, unbehindert auswirken konnte. Nach weiteren 45 Minuten Abbindezeit wurde im Degussa-Muffelofen langsam und gleichmäßig auf 800° C vorgewärmt. Gegossen wurde in der Degussa-Tiegelschleuder. Bei dieser Arbeitsweise erwärmt sich die Muffel gleichmäßig bis zur gewünschten Temperatur und das Gußgut wird nicht überhitzt. Der Guß erfolgte unmittelbar nach dem Herausnehmen der Muffel aus dem Ofen, sodaß sie die Temperatur behielt, die sie im Ofen erlangte.

Das Gußobjekt erstarrt lunkerfrei, weil die Kontraktion durch die aus dem verlorenen Kopf nachgesaugte Schmelze ausgeglichen wird.

Auf diese Weise wurden Güsse mit Palliag M und Duallor-Guß durchgeführt, wobei 1) der Einfluß der thermischen Expansion, 2) der Einfluß der Erkaltung, 3) der Einfluß der Vorwärmetemperatur der Muffel und 4) der Einfluß der Temperatur der Schmelze beim Guß auf die Länge des Gußobjektes ermittelt worden ist.

Die Messung der Körper und Gußobjekte erfolgte im Zeiß-Fühlhebelmikrometer. Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen zusammengefaßt.

Tabelle 6.

1. Einfluß der thermischen Expansion.

Material	Erkaltung	Längenveränderung in %	Bemerkungen
Palliag M	abgeschreckt bei etwa 700°	— 0,38 %	ohne Asbesteinlage
„	„	— 0,34 %	„ „
„	„	+ 0,08 %	3 Lagen Asbest = 1 mm dick
„	„	+ 0,06 %	nackte Form

Bei der Einbettung in die eiserne Muffel ohne Asbesteinlage kontrahieren die Güsse erheblich. Schon Appel hatte festgestellt, daß die Abbindeexpansion bei Duroterm erst dann voll zur Wirkung kommt, wenn ihr durch eine Asbesteinlage ein gewisser Spielraum gelassen wird. Bei zwei Vergleichsversuchen in eine Muffel mit dreifacher Lage Asbestpapier und in die nackte Form erhielt ich vergrößerte Gußobjekte. Die Werte stimmen ungefähr überein. Es ist deshalb nach meiner Ansicht empfehlenswert, auch bei hochexpandierenden Einbettmassen Asbesteinlagen von 0,3—0,5 mm zu verwenden, damit die thermische Expansion sich unbehindert auswirken kann. Mit dieser einfachen Lage von 0,3 mm Asbestpapier habe ich dann alle folgenden Versuche ausgeführt.

Tabelle 7.

2. Einfluß der Erkaltung bei Palliag.

Material	Erkaltung	Längenänderung in %	Bemerkungen
Palliag M	abgeschreckt bei etwa 700° C	± 0,00 %	0,3 mm Asbesteinl.
„	dto.	— 0,08 %	„ „
„	„	— 0,02 %	„ „
„	langsam erkaltet	— 0,08 %	„ „
„	„ „	— 0,04 %	„ „
„	„ „	± 0,00 %	„ „

Bei genauer Beachtung aller Vorschriften über die zweizeitige Einbettung mit einer hochexpandierenden Einbettmasse und gewissenhafter Erfüllung aller Forderungen im Gußverfahren (verlorener Kopf, gleichmäßige Durchwärmung der Muffel, Schutz vor Ueberhitzung der Schmelze) gelingt es, die Kontraktion beim Guß der Palladium-Silber-Legierungen praktisch auszugleichen. Die übrigbleibende Schrumpfung ist im Hinblick auf die Größe prothetischer Güsse (Inlays, Kronendeckel, Halbkronen, Brückenkörper u. a.) bedeutungslos. Gleichzeitig sieht man aus der Tabelle 7, daß die Kontraktion eines Gußobjektes dieselbe ist, wenn man es bei Rotglut abschreckt, oder langsam erkalten läßt.

In der nächsten Tabelle 8 sind dieselben Versuche mit Duallor-Gußlegierung niedergelegt. Die Schrumpfung ist etwas größer als bei Palliag M, aber auch hier kann man sie praktisch vernachlässigen.

Tabelle 8.

2a) Einfluß der Erkaltung bei Duallor.

Material	Erkaltung	Längenänderung in %	Bemerkungen
Duallor-Guß	abgeschreckt bei etwa 700 ° C	— 0,09 %	0,3 mm Asbesteinl.
„ „	„	— 0,09 %	„ „
„ „	„	— 0,08 %	„ „
„ „	langsam erkaltet	— 0,09 %	„ „
„ „	„ „	— 0,10 %	„ „
„ „	„ „	— 0,09 %	„ „

Weitere Versuche stellte ich an, um den Einfluß der Vorwärmetemperatur der Muffel auf die Kontraktion festzustellen. Ich verweise auf die Expansionskurve der Durotermeinbettmasse auf Seite 24. Hiernach mußten Vorwärmetemperaturen im Bereich von 700°—1000° ohne Einfluß auf die Kontraktion des Gußobjektes sein.

Tabelle 9.

3. Einfluß der Vorwärmtemperatur der Muffel.

Material	Vorwärme-temperatur	Längen-änderung	Erkaltung	Bemerkung
Palliag M			abgeschreckt	
	700 ° C	— 0,07 %	bei etwa 700 °	0,3 mm Asbest
„	800 ° C	— 0,08 %	„ „ „	„ „
„	900 ° C	— 0,08 %	„ „ „	„ „

Die Vorwärmetemperatur ist praktisch ohne Einfluß auf die Länge des Gußobjektes, wenn sie innerhalb des größten Expansionsbereichs der Einbettmasse von 700°—1000° liegt. Die ermittelten Werte liegen alle in dem Bereich der in den Tabellen Nr. 7 und 8 gefundenen Mittelwerte. Während ich hier den Einfluß der Vorwärmetemperatur der Muffel untersucht habe, ist in weiteren Versuchen der Einfluß der Temperatur der Schmelze beim Guß nachgeprüft worden. Die Schmelze wurde in allen vorausgegangenen Gußversuchen vom Schmelzpunkt ab noch 15 Sekunden überhitzt, um eine möglichst geringe Ueberhitzung des Gußgutes zu haben. Die Zeit vom Augenblick der Entfernung der Flamme bis zum Guß betrug durchschnittlich 14 Sekunden. Es wurde jetzt 15, 30, 45 und 60 Sekunden überhitzt und die erreichten Ueberhitzungstemperaturen, sowie die Temperatur 14 Sekunden später, bei der tatsächlich der Guß erfolgte, gemessen. Ein Thermoelement, das sich in einem Schmelzrohr befand, wurde in die Schmelze getaucht und deren Temperatur nach 15, 30, 45 und 60 Sekunden Ueberhitzungsdauer und, dann nach jeweils weiteren 14 Sekunden Abkühlung abgelesen. Die so ermittelten Werte stellten die jeweilige Temperatur beim Guß dar.

Tabelle 10.

4. Ueberhitzung der Schmelze.

Material	Ueberhitzungsdauer in Sekunden	Erreichte Temperatur in ° C	Temperatur beim Guß 14 Sek. später	Längenänderung in %
Palliag M	15	1070°	1055°	— 0,10 %
„	30	1135°	1110°	— 0,11 %
„	45	1160°	1140°	— 0,14 %
„	60	1190°	1160°	— 0,10 %

(0,3 mm Asbesteinlage, abgeschreckt bei etwa 700°)

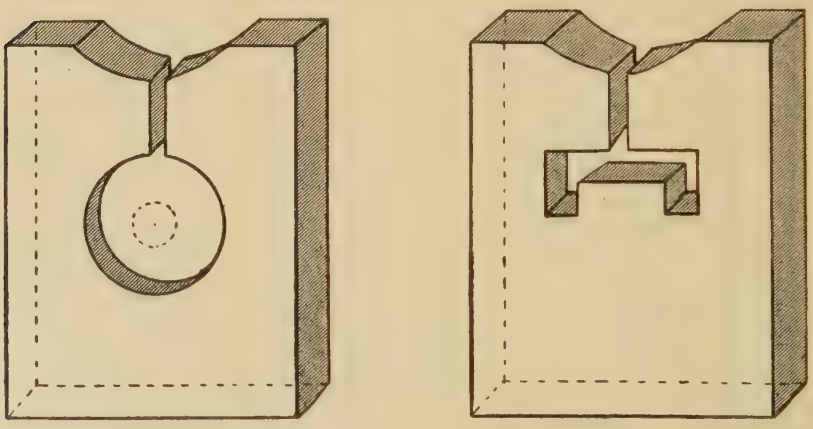
Die Tabelle 10 zeigt die Ueberhitzungsdauer und die dabei erreichte Temperatur, sowie die Temperatur der Schmelze beim Guß. Die ermittelten Werte für die Kontraktion sind etwas höher, als die vorher gefundenen Werte, aber sie stimmen untereinander verglichen doch gut überein. Eine Ueberhitzung bis zu 120° ist auf die Kontraktion ohne Einfluß. Eine Wiederholung dieser Versuchsreihe ergab das gleiche Ergebnis.

Aus den Versuchen geht weiter hervor, daß eine allzustarke Ueberhitzung der Schmelze in der Tiegelschleuder nicht möglich ist. Beim

Schmelzen in der offenen Flamme wurde schon früher von Scheffler eine Ueberhitzung von 20 karätigem Gold mit 975° Schmelztemperatur auf 1300° C beobachtet. Solche starken Ueberhitzungen müssen sich auf die Beschaffenheit des Gußobjektes sicher ungünstig auswirken.

3. Güsse in Stahlformen.

Weiter oben wurde schon ausgeführt, daß nach der Ansicht von Leuser und Spanner eine Behinderung der Kontraktion in der Form eintreten kann, wenn Legierungen von geringer Warmfestigkeit vergossen werden. Um das Verhalten von Duallor und Palliag in dieser Hinsicht nachzuprüfen, führte ich Güsse in kalte Stahlformen durch. Zu diesem Zweck wurde eine zweiteilige Stahlform hergestellt, die auf der Tiegelschleuder in der gleichen Weise wie die Gußmuffeln aufgehängt wurden. Die Eingußöffnung ist muldenförmig ausgearbeitet, damit der Tiegel genau hineinpaßt. Der Guß erfolgt in 4 mm dicke Stahlteile, die in die Form eingelegt werden. Von der Mulde aus führt ein Kanal von 2 mm Durchmesser in die Form hinein. Die Einzelheiten gehen aus den beigefügten Skizzen hervor.



Skizzen für die Einlagen in die Stahlformen.

Während des Schmelzens ist die Form durch Asbest abgedeckt, damit keine Erwärmung eintreten kann, der Guß erfolgt also in einen Formhohlraum von Zimmertemperatur. Beim Guß in die Form A entsteht eine runde Scheibe, die in ihrer Kontraktion unbehindert ist. Durch Einsetzen eines 6 mm dicken Stahlstiftes, genau in die Mitte der Form, bekommt man eine teilweise Behinderung der Kontraktion.

In Tabelle 11 sind die bei Palliag ermittelten Werte bei unbehinderter Schrumpfung angegeben. (Ohne eingesetzten Stift). Der Mittelwert beträgt 1,62% lineare Schrumpfung. Als Durchmesser wurde bei allen gegossenen Scheiben der Mittelwert aus drei Durchmessern gewählt. Ø Ø Ø

Tabelle 11.

Gußversuche in die kalte Stahlform. Palliag M

	1. Guß	2. Guß	3. Guß	Mittelwert
Kontraktion in %	1,63 %	1,56 %	1,68 %	1,62 %

Tabelle 12 zeigt die Werte bei behinderter Kontraktion, der Mittelwert beträgt 1,29%. Daraus geht hervor, daß die Schwindung durch eine unnachgiebige Form bedeutend beeinflußt werden kann.

Tabelle 12

Gußversuche in die kalte Stahlform mit Stifteinlage. Palliag M.

	1. Guß	2. Guß	3. Guß	Mittelwert
Kontraktion in %	1,24 %	1,25 %	1,37 %	1,29 %

Auch mit der Duallor-Gußlegierung wurden Güsse in die Form A durchgeführt Die Tabelle 13 zeigt die gemessenen Werte.

Tabelle 13.

Gußversuche in die kalte Stahlform. Duallor G

	1. Guß	2. Guß	3. Guß	Mittelwert
Kontraktion in %	1,43 %	1,45 %	1,45 %	1,44 %

Mit einem Mittelwert von 1,44% bleibt die Gesamtkontraktion bei unbehinderter Schrumpfung hinter der von Palliag zurück. Die Ergebnisse dieser Versuche stimmen mit den durch dilatometrische Messung ermittelten Werten fast völlig überein, wenn man die Kurven bis zu den Soliduspunkten der entsprechenden Legierungen extrapoliert.

Bei den Güssen in die Form A wurde noch eine Beobachtung gemacht, die nicht unerwähnt bleiben soll. Auf beiden Seiten der Scheibe zeigte sich nach der Mitte zu eine Eindellung, die ganz offensichtlich mit der Schwindung beim Uebergang vom flüssigen in den festen Zustand zusammenhängt. Alle diese Gußversuche in die kalte Form wurden ohne verlorenen Kopf durchgeführt. Beim Guß dieser Scheiben erstarrt der dünne Gußkanal zuerst und hat somit keinen Einfluß auf die Erstarrung in der Scheibe. In dieser bildet sich zuerst ein fester Mantel am äußeren Rand der Form. Die Erstarrung schreitet dann schichtweise von außen nach innen vor. Dabei bildet sich auch auf den flachen Seiten der Scheibe ein fester Mantel, der noch verhältnismäßig dünn ist. Die Lunkerbildung muß sich also an der Stelle auswirken, an der die Schmelze zuletzt erstarrt. Die Kräfte, die dabei auftreten, sind so groß, das der noch nicht allzufeste Mantel auf den flachen Seiten der Scheibe nach innen eingezogen wird. Diese Veränderung ist als ein Teil der Lunkerbildung anzusprechen. Die beigefügte Abbildung 3 zeigt einen Schnitt durch einen der Gußkörper, man sieht deutlich die seitliche Eindellung.

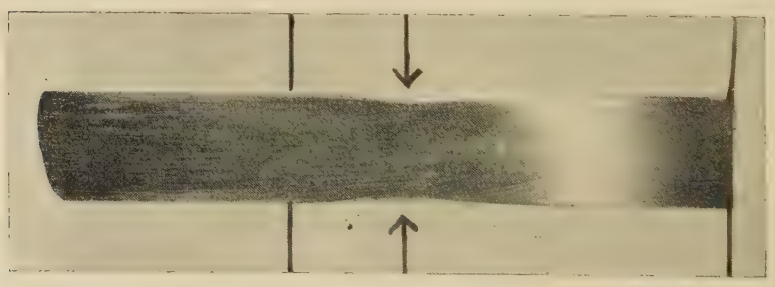


Abbildung 3 (vergrößert)

Lunkerbildung durch Metallkontraktion

Im Innern des Gußkörpers findet sich in der Höhe der seitlichen Eindellung Lunkerbildung, die in Abbildung 4 in stärkerer Vergrößerung sehr deutlich in Erscheinung tritt.

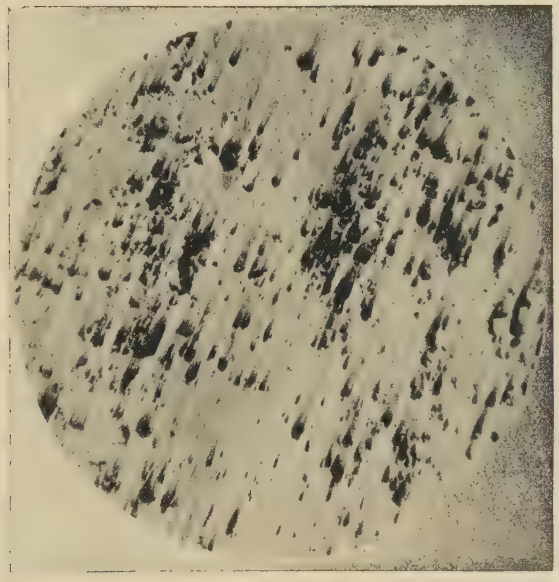


Abbildung 4

Lunkerbildung aus Abb. 3 (stark vergrößert).

Güsse in die Form B wurden mit Palliag M und Durallor G durchgeführt. Bei dieser winkligen Form sind die Verhältnisse bei der Erstarrung komplizierter. Sie kommen damit den tatsächlichen Verhältnissen näher. Wie sich die Schwindung bei Behinderung im unteren Teil der Form auswirkt, zeigt am besten die Abbildung 5, in der ein Gußkörper gezeigt wird, der sich noch in der Form befindet

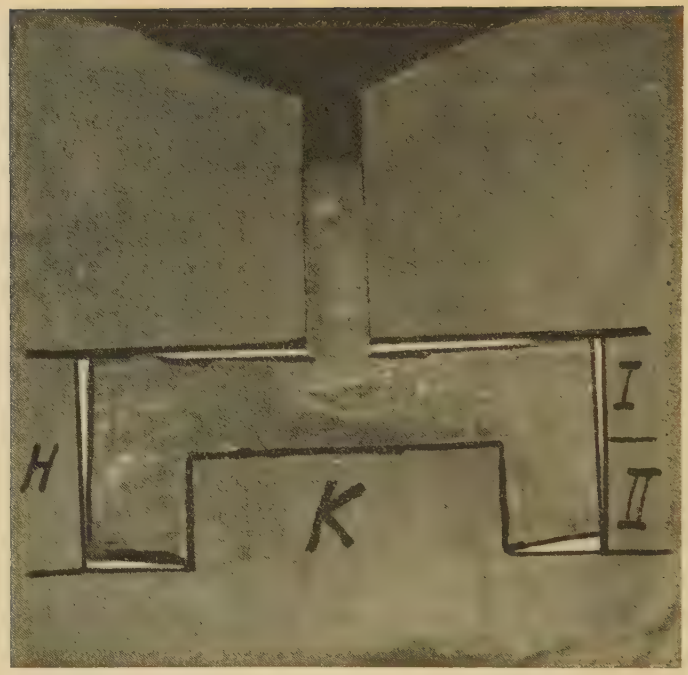


Abbildung 5.

Bei der Aufnahme wurde das Objekt von unten her beleuchtet, damit der durch die Kontraktion entstandene Spalt deutlich sichtbar gemacht wird.

Im Bereich I der Form ist die Kontraktion an sich nicht behindert, im Bereich II ist sie stark behindert, da hier das Gußobjekt auf den Kern K aufschrumpft. In der Höhe H ist keine Behinderung vorhanden. Durch die gegeneinander arbeitenden Kräfte tritt eine starke Verzerrung des Gußobjektes ein, die aus Abbildung 5 hervorgeht. Zahlenmäßig sind die gemessenen Veränderungen bei Palliag M und Duallor G in den Tabellen 14 und 15 niedergelegt.

Tabelle 14.

Gußversuche in die kalte Stahlform Palliag M.

	1. Guß	2. Guß	3. Guß	Kontraktion
Form oben 19,9 mm	19,7	19,7	19,7	1,05 %
„ unten 19,8 mm	19,8	19,8	19,8	0 %

Tabelle 15.

Gußversuche in die kalte Stahlform, Duallor C.

	1. Guß	2. Guß	3. Guß	Kontraktion
Form oben 19,9 mm	19,7	19,7	19,7	1,05 %
„ unten 19,8 mm	19,8	19,8	19,8	0 %

In beiden Fällen beträgt die Schrumpfung infolge der Verzerrung am unteren Ende 0%, während sie im oberen Teil 1,05% ausmacht und damit noch hinter den Werten, die ich für die Palliaggüsse in die behinderte runde Form ermittelt habe, zurückbleibt.

Zusammenfassung.

1. Nach dem Dilatometerverfahren wurden die Expansion und Kontraktion von Palliag und Duallorlegierungen gemessen. Bei gleichem Bearbeitungszustand sind bei Palliag keine nennenswerten Unterschiede in der Expansion festzustellen. Auch die Duallorlegierungen verhalten sich ähnlich, sodaß man keine eindeutige Beeinflussung der Längenausdehnung durch die unedlen Zusätze annehmen kann.

Bei den Gußlegierungen ist eindeutig geringe Warmfestigkeit festzustellen, da sich die Körper unter dem niedrigen Meßdruck bereits stauchen.

2. Bei völliger Ausnutzung der Abbinde- und thermischen Expansion (Asbesteinlage in Muffel) der Duroterm-Einbettmasse gelangt man zu kontraktionslosen Güssen mit den neuen Legierungen. Eine Beeinflussung der Kontraktion durch die Vorwärmung der Muffel zwischen 700 und 900° und durch Ueberhitzung der Schmelze in gewissen Grenzen ist nicht festzustellen.

3. Güsse in Stahlformen von Zimmertemperatur ergaben folgende Resultate:

a) bei unbehinderter Schrumpfung, eine Verkleinerung, die der dilatometrisch gemessenen Gesamtkontraktion entspricht,

b) beim Aufschrumpfen auf einen Stahlstift 0,31% geringere Kontraktionswerte und

c) beim Guß in winklige Formen mit teilweiser Behinderung der Kontraktion treten starke Verzerrungen der Gußkörper auf.

Literaturnachweis.

1. Appel, Erwin: „Ueber Expansion und Kontraktion von Goldlegierungen und ihren Ausgleich beim Guß durch entsprechende Maßnahmen". Dissertation, München, 1938.
2. Besier: „Ueber Formveränderungen des Modellwachses in Abhängigkeit von der Temperatur". Dissertation, München, 1930.
3. Degussa: „Das Gießen mit der Degussa-Tiegelschleuder". Sonderdruck der Degussa.
4. Degussa-Briefe:
5. Fabian: „Metall- oder Papierzylinder beim Guß". Zahnärztliche Rundschau 1930. Heft 28.
6. Falck, Karl: „Einführung in die Werkstoffkunde für Zahnärzte". J. F. Lehmann, München, 1937.
7. Fritsch, Elbrecht, Nowak: „Das Gießen mit dem verlorenen Kopf". Zahnärztliche Rundschau 1930, Heft 17.
8. Gerlach, Hans: „Neue deutsche Werkstoffe in der Zahnheilkunde". Sammlung Meusser, Heft 35, 1938.
9. ders.: „Thermo-volumetrische Untersuchungen an Einbettmassen im zahnärztlichen Gußverfahren". Verlag Meusser, Leipzig, 1935.
10. Leuser, Josef: „Palladium-Silber-Legierungen". Sonderdruck der Degussa.
11. ders.: „Ueber das Angießen an Palladium-Silber-Legierungen". Sonderdruck der Degussa.
12. Maves: „Expansion technique for dental castings". Dental Cosmos 1929.
13. Schäffner, Hans: „Formveränderungen von Goldgüssen für die Zahnheilkunde in Abhängigkeit ihrer Zusammensetzung mit besonderer Berücksichtigung der Vergütung". Deutsche Zahnärztliche Wochenschrift, 5. Nov. 1931, Heft 21.
14. Scheffler, Klaus: „Der Einfluß verschiedener Gußmethoden auf die Beschaffenheit der Gußstücke in der zahnärztlichen Praxis". Dissertation, Frankfurt 1931.

15. Schoenbeck: „Eröffnungsrede bei der Tagung der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde 1938". Zahnärztliche Mitteilungen 1938, Heft 43.

16. Schubert, Ludwig: „Hilfsmaterialien und Werkstoffe der zahnärztlichen Prothetik im Lichte experimentell-physikalischer Untersuchungen, sowie ihre Nutzanwendung in der Praxis". Verlag Meusser, Leipzig, 1937.

17. Solbrig: „Welche Faktoren bedingen die Formveränderungen in den zahnärztlichen Gußverfahren?". Vierteljahresschrift für Zahnheilkunde, Jahrgang 38, Heft 1.

18. Spanner, Jakob: „Grundlagen der Gußtechnik". Schweizer Monatsschrift f. Zahnheilkunde. Band XLIII 1933, Heft 1.

19. ders.: „Die metallischen Werkstoffe für Zahnersatz". Deutsches Zahnärztebuch 19. Ausgabe 1938.

20. ders.: „Kontraktion und Warmfestigkeit von Goldlegierungen". Berichte des IX. Internationalen Zahnärztekongresses F. D. I. Wien, 1936.

21. Trurnit, Hermann: „Ueber die Kontraktion des Goldes beim Gießen von Füllungen und Brücken". Dissertation, Frankfurt, 1921.

22. Thielemann: „Zur Frage der Herstellung von umfassenden Goldgüssen". Zahnärztliche Rundschau 1930, Heft 43.

Lebenslauf.

Am 29. März 1908 bin ich in Wesermünde-Lehe als Sohn des Steuerbeamten Friedrich Jacob und seiner Ehefrau Theda, geb. Hohnholt, geboren.

Nach Besuch der Oberrealschule in Wesermünde bis zur Unterprima erlernte ich den Dentistenberuf, in dem ich 9 Jahre tätig war. Im Frühjahr 1936 bestand ich in Berlin das Abiturientenexamen und studierte im Sommersemester 1936 an der Universität Hamburg Zahnmedizin. Nach weiteren zwei Semestern Studium in Tübingen bestand ich dort die zahnärztliche Vorprüfung.

Nach drei weiteren Semestern in Tübingen erhielt ich vom Herrn Innenminister in Stuttgart die Genehmigung zur Ablegung der zähnärztlichen Staatsprüfung nach einem Studium von sechs Semestern, die ich am Ende des Wintersemesters vor dem Zahnärztlichen Prüfungsausschuß in Tübingen bestand.

Wilhelm Jacob.